

## CONTROL DE LA DETERMINACION SEXUAL EN ORGANISMOS ACUATICOS CULTIVADOS

Carmen Y. Alfonsi\*, Julio E. Pérez.

### RESUMEN

En los cultivos de organismos acuáticos existe la posibilidad de aumentar los beneficios económicos, mediante la obtención de individuos estériles o poblaciones de organismos de un sólo sexo. En el presente trabajo se analizan los diferentes mecanismos de determinación del sexo en peces, moluscos y crustáceos y las diversas técnicas para obtener organismos estériles y poblaciones todos hembras o todos machos en peces y crustáceos cultivados.

### INTRODUCCION

Una de las características fundamentales de la vida es la sexualidad. Machos y hembras muestran una amplia variedad de disparidades químicas, anatómicas y de comportamiento en casi todos los organismos multicelulares. Las especies cultivadas de organismos acuáticos no son una excepción y en aquellas donde la diferenciación sexual existe, encontramos diferencias en cuanto a crecimiento de un sexo a otro, así por ejemplo en tilapias (*Oreochromis* spp.), bagres del canal (*Ictalurus punctatus*), y en algunas especies de crustáceos como *Macrobrachium rosenbergii*, los machos crecen más que las hembras; mientras que los individuos del sexo femenino de especies como la trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*), las carpas (*Ctenopharyngodon idella* y *Cyprinus carpio*), crecen más que los machos.

Por otra parte en algunas especies de peces se produce una maduración temprana, la cual es generalmente perjudicial desde el punto de vista económico,

ya que genera una sobrepoblación y una disminución del crecimiento, a medida que el pez alcanza la madurez sexual se reduce la velocidad de crecimiento. En ciertas especies de truchas y salmones los machos además de alcanzar la madurez sexual precozmente, tienen una apariencia desagradable, poca calidad de carne y una mayor susceptibilidad a enfermedades (Pérez & Beaumont, 1990).

Debido a que los organismos con características desventajas, representan una pérdida económica significativa, se han planteado opciones para prevenir ésta produciendo peces estériles o "stocks" de organismos todos hembras o todos machos. Es así que el conocimiento de los procesos de determinación sexual en organismos acuáticos cultivables es de gran importancia, al permitir obtener mejores organismos para el consumo humano, manipulando los progenitores o los embriones indiferenciados, para obtener el desarrollo sexual deseado.

### DETERMINACION SEXUAL:

Algunos animales inferiores y la mayoría de las plantas superiores son capaces de producir células reproductivas (gametos) femeninas y masculinas en un mismo individuo, es decir, son hermafroditas. Pero, en muchos animales y en algunas plantas, los gametos femeninos (óvulos) y masculinos (espermatozoides) son producidos por individuos diferentes: hembras y machos (organismos dioicos).

La diferencia más obvia de comportamiento entre sexos es la actividad copulatoria. En general, los individuos con testículos intentan la inseminación (comportamiento típico de machos), mientras que los individuos que tienen ovarios son receptores que van a ser inseminados (comportamiento típico de la hembra). Durante las etapas tempranas del desarrollo de un nuevo individuo, las gónadas producen hormonas sexuales que son las que determinan las características femeninas o masculinas. Muchas especies que incluyen peces y reptiles dependen de un mecanismo

\*Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente Cumaná..

disparador no genético para guiar la diferenciación sexual como pueden ser condiciones ambientales como la temperatura (en cocodrilos, tortugas y lagartos) o sociales (como en algunos moluscos y peces) (Crews, 1994; Tave, 1994).

En el concepto organizacional, los cromosomas (estructuras que contienen la información genética) establecen el último control sobre el sexo a desarrollar por el animal. En algunos organismos dioicos, se pueden apreciar diferencias morfológicas entre un par de sus cromosomas, llamados cromosomas sexuales, en otro grupo de organismos, estas diferencias no son apreciables, al igual que como ocurre en los hermafroditas (Crews, 1994).

En los organismos dioicos, el mecanismo de determinación sexual más ampliamente distribuido es el XX - XY en que las hembras tienen dos cromosomas sexuales iguales llamados X (homogaméticas) y los machos tienen un cromosoma X y uno Y (heterogaméticos), a menudo diferenciables morfológicamente. Al unirse un óvulo que lleva X con un espermatozoide que también lleva X se originará una hembra XX, mientras que al unirse un óvulo X con un espermatozoide Y se originará un macho XY (Fig. 1). Este tipo de determinación sexual se encuentra en muchos insectos, otros invertebrados, algunos peces y mamíferos incluyendo al hombre y muchas plantas dioicas. En otros organismos la situación es inversa, es decir, los machos son el sexo homogamético (ZZ) y las hembras el sexo heterogamético (ZW), siendo común en aves y muchos peces (Fig. 2).

Se supone que los cromosomas sexuales (XY ó ZW) eran idénticos en sus primeras etapas evolutivas pero, se han establecido diferencias morfológicas entre ellos debido a alguna fuerza evolutiva que parece conducir al cromosoma que determina el sexo heterogamético (Y ó W) a su desaparición, con la consecuente producción de mecanismos de determinación sexual ZO y XO (Morell, 1994).

En peces, se han señalado nueve (9) sistemas de determinación sexual (Kirpichnikov 1981; Tave, 1989); en ocho de los cuales son los cromosomas sexuales los que intervienen. Estos sistemas son: XX-XY; presente entre otras especies en truchas y salmones y algunas especies de tilapia como (*Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*); el sistema ZZ-ZW, que se encuentra entre otras en algunas tilapias como *O. hornorum*; *O. aureus* y *O. macrochir*. Como

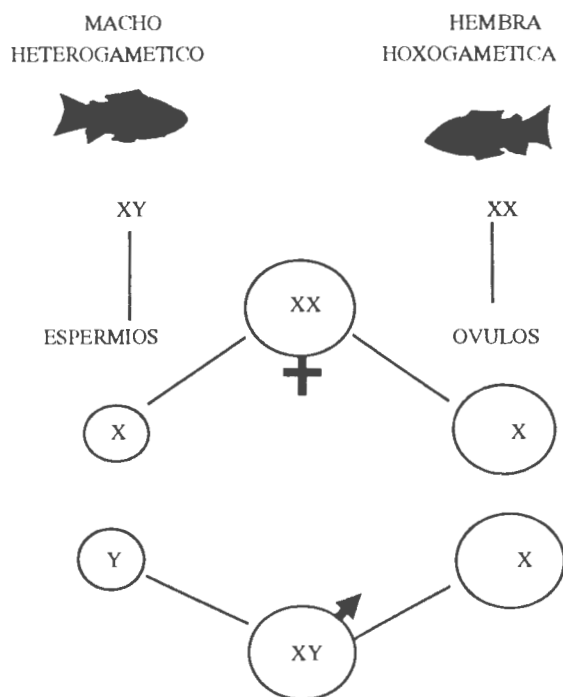


Figura 1. Mecanismos de determinación sexual XY.

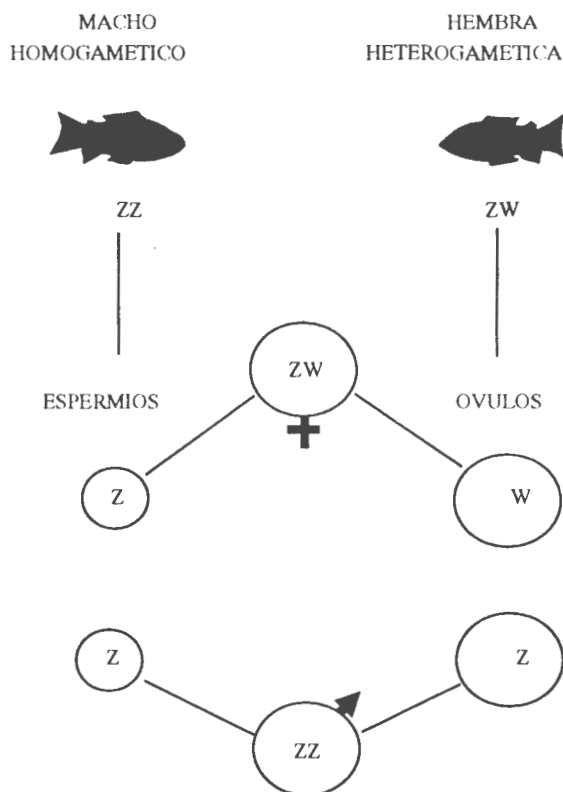


Figura 2. Mecanismos de determinación sexual ZW.

variantes de estos sistemas encontramos el sistema XO con hembras XX y machos XO (Ejm: el denominado "Killifish" *Fundulus diaphanus*, Familia: Cyprinodontidae); el sistema ZO, con hembras ZO y machos ZZ (Ejm: *Colisa fasciatum* Familia: Bellontiidae). Otros sistemas, involucran cromosomas sexuales múltiples: el  $X_1X_2Y$  con hembras  $X_1X_1X_2X_2$  y machos  $X_1X_2Y$  (Eje: *Megupsilon aporus*, Familia: Cyprinodontidae); el sistema WXY, con hembras XX; WX; WY y machos XY y YY (Ejm. el pez de acuario denominado "platy" *Xiphophorus maculatus*, Familia: Poeciliidae). Además de otros sistemas como el  $W_1W_2Z$  y el  $Y_1Y_2Z$ . En el noveno sistema el sexo es determinado por genes autosómicos.

Durante el cultivo de algunas especies de tilapias se han observado cambios de espontáneos de sexo, posiblemente debido a que en ocasiones, en algunas especies con cromosomas sexuales, los genes autosómicos pueden jugar también un papel en la determinación del sexo. Esto constituye un problema para la obtención de poblaciones monosexuales en esas especies.

El hermafroditismo es muy común en peces y podemos encontrar: hermafroditas protoginios (que pasan de hembras a machos); hermafroditas protándricos (que se transforman de machos a hembras); hermafroditas funcionales o sincrónicos, que producen gametos femeninos y masculinos a la vez. Especies de peces de al menos 14 familias, son hermafroditas protoginios y varias especies de al menos 8 familias son protándricos; en su mayoría pertenecientes a los ordenes Perciformes y Symbrachiformes. Entre los hermafroditas sincrónicos o funcionales están 4 familias del orden Myctophiformes (Purdom, 1984). Estos cambios de sexo pueden responder a causas de tipo fisiológico, de desarrollo y socioecológicas (Shapiro, 1987; Ross, 1990; Warner & Swearer, 1991).

En algunas especies de crustáceos, también se han observado los sistemas genéticos de determinación sexual y se ha encontrado el tipo XX-XO en algunos brachiopodos, decápodos y copépodos; el tipo  $X_1X_2O$  en isópodos y el tipo XX-XY en algunos decápodos.

En moluscos, no existen evidencias de la existencia de cromosomas sexuales, por lo menos en almejas, ostras y mejillones. Algunos moluscos son dioicos, otros son hermafroditas funcionales y también se encuentran hermafroditas consecutivos, consecutivos rítmicos y alternativos. Estas variantes están presentes sobre todo en las familias Veneridae, Ostracidae y

Arcidae. Un hermafrodita consecutivo tiene un cambio en su sexualidad funcional durante su vida (pueden ser protándricos o protoginios); los consecutivos rítmicos implican más de una reversión sexual en la vida del individuo y la sexualidad alternativa, se refiere a cambios sexuales erráticos y ocurre en especies donde los adultos funcionan normalmente como sexos separados pudiendo o no revertirse en el ciclo reproductivo siguiente (Mackie, 1984).

## PRODUCCION DE POBLACIONES ESTERILES Y MONOSEXUALES DE PECES

Las técnicas para producir poblaciones monosexuales (sólo de hembras o sólo de machos) o estériles, especialmente en peces, son varias y entre ellas están: la separación manual de los sexos, la hibridización, la gimnogénesis, la androgénesis, la poliploidía y la reversión sexual. En el presente artículo, a pesar de que se hace énfasis en la utilización de la reversión sexual, principalmente por tratamientos hormonales, también se analiza la hibridización, ginogénesis y androgénesis como mecanismo de creación de poblaciones monosexuales y la triploidía como técnica de producción de organismos estériles.

### 1.- Poblaciones estériles.

La meiosis (proceso de división celular que tiene como objetivo la formación de los gametos), es un proceso complejo de apareamiento y separación de los dos sets de cromosomas de un individuo, de manera tal que la presencia de un tercer set en los triploides complica aún más este proceso y determina generalmente en éstos la ausencia total de gametos funcionales o la producción de estos en un número reducido.

Las ventajas de los triploides para la acuicultura es que debido a su esterilidad, no gastan energía en la formación de gametos y en general alcanzan mayores tamaños y a veces viven más tiempo. Otra ventaja, es que durante el período reproductivo, los triploides no pierden la textura y el sabor de su carne.

En organismos como la trucha arcoiris, los triploides se usan en las granjas de cultivo en forma usual, tanto en Europa como en los Estados Unidos. Durante la época reproductiva las truchas, declinan no sólo en el crecimiento, sino también en la calidad de su carne, especialmente en los machos que generalmente madu-



ran un año antes que las hembras, a veces a los 10 meses. Los machos adquieren una apariencia desagradable y una actitud agresiva, que puede causarles heridas frecuentemente infectadas por hongos y bacterias. Además, en algunas cepas los machos mueren al final de la época reproductiva. Este problema ha sido en parte solucionado, eliminando los machos mediante el empleo de hormonas, como lo veremos más adelante o por el empleo de la triploidía como el método más simple y confiable de producir truchas estériles.

El tratamiento consiste en aplicar un "shock" térmico (también pueden emplearse de presión o compuestos químicos, como la citochalasin B) a ovocitos recién fecundados. Los efectos importantes de la triploidía sobre las gónadas son: en los machos se desarrollan los testículos y alcanzan un tamaño similar al de los diploides, sin embargo, casi son estériles, la esperma no es capaz de fertilizar o se produce en muy poca cantidad; sin embargo se secretan las hormonas esteroides y producen los efectos indeseables de la maduración sexual. Por otra parte, el desarrollo de los ovarios está suprimido y se pueden observar como estructuras muy pequeñas, la secreción hormonal no se produce. En esta especie, la triploidía parece ser beneficiosa sólo para las hembras y lo más recomendable es producirlas exclusivamente mediante reversión sexual.

En relación al crecimiento es necesario señalar, que los triploides de truchas crecen más rápidamente que los diploides, solamente durante la época reproductiva. Además, los triploides son más "tímidos" en la competencia por el alimento que los diploides; si crecen separados o con un pequeño porcentaje de diploides (situación que se presenta en los cultivos comerciales), su crecimiento es similar al de los diploides hasta la época reproductiva, pero si el porcentaje aumenta, los diploides pueden crecer más (Lincoln & Bye, 1984). Otra explicación al menor crecimiento de los juveniles triploides puede ser que el proceso puede traer efectos dañinos sobre el embrión y cambios en la relación núcleo citoplasma (Myers, 1986).

Lincoln (1987) indicó que este procedimiento para producir triploides se emplea en un 30% de las granjas de cultivo de Gran Bretaña y que el éxito de estos animales se debe en parte a que el desove natural se produce en invierno, cuando la navidad y los banquetes de fin de año incrementan la demanda de truchas grandes de alta calidad: los triploides.

Allen (1988) también observó que en los tejidos de la ostra del pacífico, *Crassostrea gigas* que se cultiva en la costa oeste de los Estados Unidos, pierden textura y buen sabor durante la época reproductiva, al usar el glicógeno (que le da el sabor agradable) como fuente de energía para la reproducción. Es así que durante el verano es un producto de difícil comercialización. Además de ser una especie exótica (originaria de Japón), no está bien adaptada a las áreas de cultivo de esa zona, donde las aguas son más frías que en su región de origen; esto hace que algunas maduren sexualmente, pero no liberen sus gametos; lo cual significa una pérdida adicional. La esterilidad es la vía más apropiada para el mejoramiento de la especie y la solución del problema.

## 2.- Poblaciones monosexuales:

El obtener poblaciones de un sólo sexo es posible en peces, ya que a pesar de que el genotipo macho o hembra se determina en el momento de la fecundación, el fenotipo sexual ocurre posteriormente durante el desarrollo. Las características sexuales del macho son determinadas principalmente por andrógenos producidos en los testículos. En aquellos individuos donde no existen testículos se desarrollan ovarios que generan hormonas femeninas llamadas estrógenos y progesteronas.

De esta manera, el fenotipo sexual puede alterarse por la administración de hormonas: estrógenos para producir hembras y andrógenos para producir machos; en cantidades que anulen los efectos de las hormonas naturales de los organismos. Las hormonas son suministradas mediante diferentes procedimientos como baños, implantes y comúnmente incorporadas en el alimento.

Es preciso señalar que éstos tratamientos de reversión sexual pueden tener repercusiones sobre el metabolismo de los organismos aún después de finalizado su suministro, se puede presentar disminución del crecimiento y en ocasiones elevada mortalidad (Donaldson & Hunter, 1982). La respuesta depende entre otros factores del tipo y cantidad de hormona empleado, el tiempo de suministro y la edad de comenzar el suministro de la hormona (Dunham, 1990).

Sin embargo, no siempre estos tratamientos den resultados positivos, un ejemplo es el bagre del canal, que presenta el mecanismo de determinación sexual XX-XY, los machos crecen de un 10-30% más rápido

que las hembras, todos los intentos para producir poblaciones de puros machos, mediante la administración de hormonas masculinas a larvas ha fallado, produciendo poblaciones sesgadas hacia las hembras. Aparentemente, estos organismos detectan los niveles elevados de andrógenos y reaccionan dirigiendo el exceso y convirtiéndolo en estrógenos (Dunham, 1990). El tratamiento contrario para producir hembras, no presenta problemas, empleando una variedad de estrógenos.

### 2.a.- Poblaciones "todas hembras":

La producción de peces todos hembras, se puede lograr en algunas especies de peces donde el sexo masculino es heterogamético y el femenino es homogamético, por reversión sexual, masculinización funcional de hembras que actuarán como machos. Para esto se proporcionan hormonas masculinas, la mayoría derivados sintéticos de la testosterona: 17 metiltestosterona; 19 noretilltestosterona y 11 cetotestosterona a los juveniles hasta aproximadamente dos meses de edad, los organismos XX (hembras) se desarrollarán y actuarán como machos (neomachos) en la época reproductiva, de manera que todos los descendientes al cruzar estos neomachos con hembras normales serán XX (hembras normales) ya que el cromosoma Y no estará presente (Fig. 3).

Una dificultad que se presenta en este tipo de experimentos es que entre los organismos tratados que han invertido su sexo, existirán machos XX y machos XY y el sexo genético de cada individuo solo se conocerá al observar la progenie. Pero se ha logrado establecer un método para truchas (Bye & Lincoln, 1981) que permite diferenciar los machos verdaderos (XY) de las neohembras (XX). A los machos verdaderos se les identifica fácilmente durante la estación reproductiva porque pueden liberar sus huevos por presión manual, mientras que los neomachos no pueden hacerlo por tener ductos espermáticos vestigiales (Fig. 4). Para fecundar, las gónadas deben ser abiertas y liberar las células sexuales.

Una de las ventajas de este proceso es que evita el tratamiento hormonal para los peces destinados a consumo humano ya que los que están en contacto con la hormona son los progenitores de los organismos de consumo. Las hembras producidas por este proceso son completamente normales y pueden ser usadas como reproductores. Sin embargo, existen algunas dificultades para explotar este método de manera co-

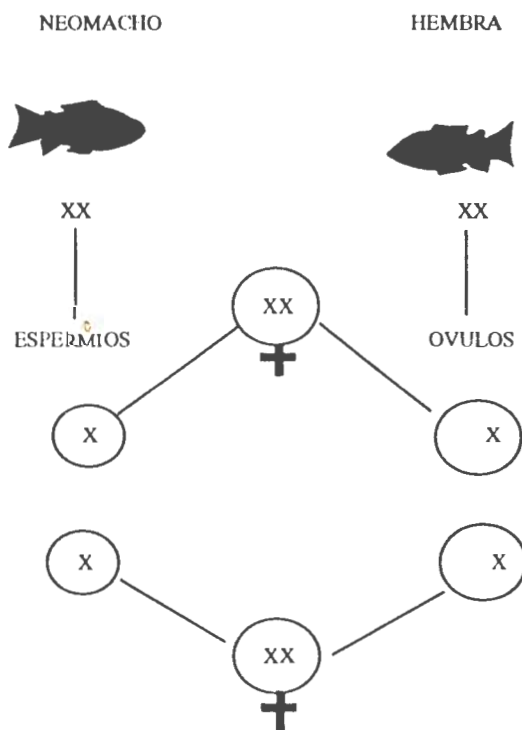


Figura 3. Obtención de poblaciones totalmente femeninas al cruzar un neomacho (XX) obtenido por tratamiento hormonal con una hembra normal (XX).

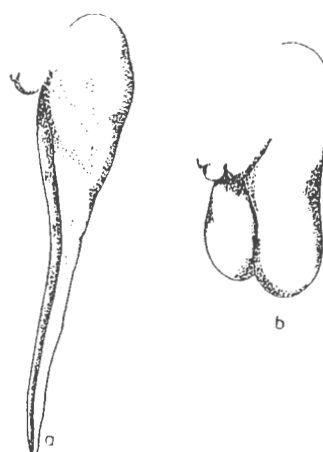


Figura 4. Gonada masculina de un pez normal (a) y gonada de una hembra masculinizada (b).



mercial; una de ellas, es que los neomachos, al no poseer ductos espermáticos deben ser sacrificados y sus testículos cortados para obtener la esperma. Por otra parte, los espermatozoides no son en general lo suficientemente activos para proporcionar porcentajes de fertilización elevados. Otra dificultad es saber si los espermatozoides están maduros ya que los machos revertidos parecen madurar más tarde que los normales.

Un procedimiento muy usado para producir truchas "solo hembras" es el de suministrar una dieta a las larvas que contenga la hormona masculina 17 metiltestosterona (3mg/kg), durante 75 días; lo que convertirá las larvas genéticamente hembras en machos funcionales, aún cuando retienen su constitución genética de hembras.

Después del suministro de la hormona masculina, los peces crecen normalmente hasta los dos años cuando alcanzan la madurez sexual. Así se logra una población de puros machos de los cuales aproximadamente la mitad serán machos normales y la otra mitad, los machos revertidos o neomachos. Estos últimos serán los progenitores de la generación de puras hembras, ya que todos sus espermatozoides llevan el cromosoma X.

Debido a que la administración oral de hormonas no es eficaz en algunos organismos como las carpas, se han desarrollado métodos alternativos de administración como el de Shelton (1986) y Mirza & Shelton (1987) donde la hormona androgénica metiltestosterona (MT) fue suministrada en tubos dimetilpolysiloxano implantados en la cavidad corporal de cada pez por una pequeña incisión abdominal. Este método de los implantes parece ser más efectivo que el de la administración oral pero más laborioso y costoso.

Otro método diferente al de la administración oral e implantes es el método de la inmersión, que se lleva a cabo disolviendo la hormona en el agua que contiene los huevos o los organismos recién eclosionados. Este método elimina algunos de los problemas de la administración oral, pero requiere cantidades mayores de andrógeno (Torrans *et al.*, 1988).

Otra forma de producir poblaciones de hembras, es el empleo de la ginogénesis. Los organismos ginogénéticos son aquellos cuyos genomas completos provienen de la madre. Esta es la forma natural de reproducción de unas pocas especies de peces, tales

como *Poecilia formosa* (Hubbs & Hubbs, 1932), *Carassius auratus gibelius* (Cherfas, 1966). En la ginogénesis artificial los ovocitos son fecundados por espermatozoides expuestos a rayos UV para destruir el material genético, aún cuando son capaces de fertilizar. Los cigotos resultantes son haploides, se desarrollan en forma anormal y mueren muy rápido. Pero si estos cigotos haploides son sometidos a shocks de temperatura o de presión, inmediatamente después de la activación o durante el primer clivaje, resultarán diploides (Fig. 5). Por supuesto, todos los individuos ginogénéticos resultarán hembras si el sexo homogamético es el femenino. Es posible cambiar el sexo de estas hembras mediante tratamiento hormonal permitiendo así el cruce de líneas ginogénéticas.

En Francia se ha desarrollado un método (Chorroux *et al.*, 1988), preparando alevines ginogénéticos (todos XX). Su masculinización sólo produce neomachos que pueden usarse directamente para los cruces respectivos. Aproximaciones similares han sido realizadas por Nagy *et al.*, (1981) para obtener cambios de sexo en la carpa (*Cyprinus carpio*) y por Shelton (1986) con la carpa *Clenopharyngodon idella*, al

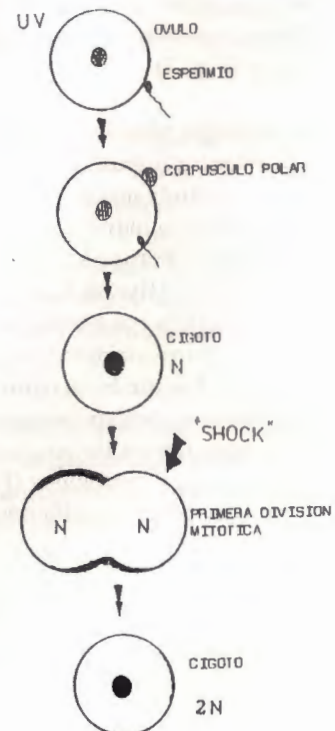


Figura 5. Esquema general de reproducción uniparental por Ginogénesis

obtener primero hembras por ginogénesis, agregando luego a la dieta, metiltetosterona para obtener machos revertidos.

Este sistema para producir poblaciones monosexuales puras hembras parece ser conveniente para especies en que las hembras sean el sexo homogamético, siempre y cuando estas sean más deseables en un cultivo que los machos. La ventaja de este método sobre el cambio de sexo sólo, es que elimina la necesidad de obtener progenie para identificar y eliminar machos normales XY.

En algunas ocasiones, también se han producido por hibridación poblaciones de puras hembras. Un ejemplo de ello, es el producto de cruzar hembras del bagre blanco (*Ictalurus furcatus*) con machos del bagre azul (*I. catus*). (Le Grande *et al.*, 1984).

#### Poblaciones "todos machos":

La forma de producir poblaciones de puros machos es más laboriosa y más lenta. Consiste en tratar larvas sexualmente indeterminadas con estrógenos como el  $\beta$ -estradiol, esterona y etinilestradiol y producir hembras XX y hembras XY. Al madurar, se separan las hembras verdaderas de las neohembras; bien sea por características externas o por análisis de progenie. Con las hembras XY se realizan entonces los cruces con machos normales, obteniéndose una progenie donde: tres de cada cuatro individuos serán machos (XY y YY). Los supermachos (YY), se identifican por cruces y luego se emplean para producir poblaciones totalmente masculinas al aparearlos con hembras normales.

Este procedimiento ha dado buenos resultados en *Oreochromis niloticus* (Scott *et al.*, 1989) y en *O. mossambica* (Tave, 1990). Desafortunadamente es un procedimiento largo que puede tomar varios años.

Las hembras XY que han originado este tipo de progenie deberán conservarse para que continúen produciendo descendientes y obtener así las poblaciones de puros machos.

Desafortunadamente el proceso es largo y puede tomar de 8 a 10 años producir e identificar los supermachos YY. Las investigaciones (Tave, 1989) han logrado producir peces de sexo revertido y se ha encontrado que los machos YY son viables. En la actualidad se estudian los supermachos para determi-

nar si en verdad producen progenies totalmente masculinas. Si esto ocurre el próximo paso será examinar las características de producción de la progenie puros machos.

Un esquema similar de selección usando reversión de sexo se ha realizado en *O. aureus* en la cual, como en todas las especies de tilapia los machos crecen más rápidamente que las hembras. En *O. aureus* los machos constituyen el sexo homogamético (ZZ) y las hembras el heterogamético (ZW). Las larvas se alimentan con estrógenos, lo cual produce hembras revertidas (ZZ) y normales (ZW). Las hembras tratadas son probadas mediante cruces con machos normales para separarlas. Las reversas producirán un 100% de machos y deben ser conservadas para cruces posteriores. Con las hembras revertidas será posible producir poblaciones de puros machos a voluntad. Lamentablemente con este método la mayor parte de los machos tratados desarrollaron genitales anormales en forma de ovotestículos. Estos machos infértiles mostraron una conducta sexual anormal (Jensen & Shelton, 1979).

En tilapias, para lograr cepas "puros machos", la hibridación parece ser la mejor técnica, empleando especies que presenten diferentes tipos de determinación sexual. Es importante señalar que la presencia de cromosomas sexuales en tilapias no se ha determinado visualmente, pero se infiere por estudios de cambio de sexo y de hibridaciones. Para producir tilapias híbridas puros machos, se deben cruzar dos sexos homogaméticos: hembras XX de una especie como *Oreochromis mossambica* u *O. nilotica* con machos ZZ de una especie con determinación sexual WZ-ZZ como *O. hornorum*, *O. aureus*, *O. variabilis*, *O. macrochir*). Este tipo de cruces producirá solamente machos (XZ) (Fig. 6). Cuando se realiza el cruce inverso: hembras heterogaméticas WZ con machos heterogaméticos XY, se producen cuatro tipos de combinaciones en relación a los cromosomas sexuales: XW, XZ, YW, YZ en iguales proporciones; la masculinidad cromosómica es dominante y el 75% de la progenie serán machos, sólo el genotipo XW resultará en hembras (Dunham, 1990).

Israel es el país que más ha empleado ésta técnica, especialmente el cruce entre hembras *O. nilotica* x machos *O. aureus*. Aún cuando, estos cruces producen progenie sólo de machos, en los cruces comerciales en gran escala, se producen algunas hembras híbridas, lo que permite la reproducción y la pérdida de esfuerzo en producir poblaciones monosexuales. En



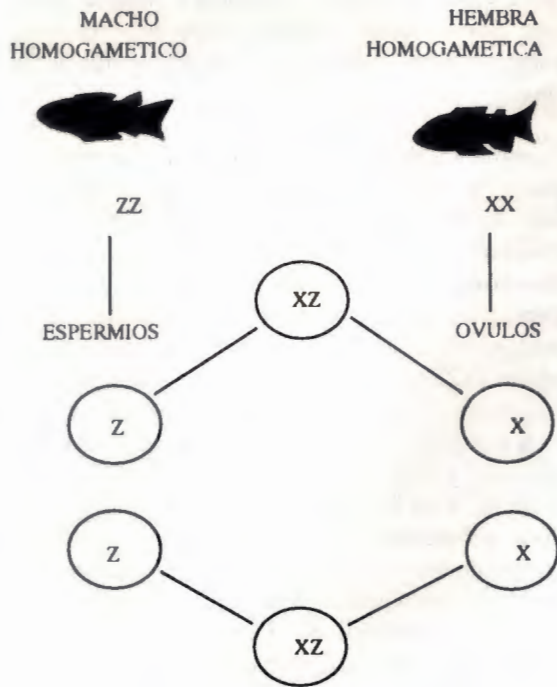


Figura 6. Hibridación entre especies con diferentes mecanismos de determinación sexual para obtener cepas "Puros Machos".

ocasiones esto ocurre, al no identificar bien las especies, difícil en poblaciones juveniles. Otra causa puede ser que una o las dos especies empleadas no sean puras y se encuentren contaminadas con otras especies de diferente determinación sexual. Recordemos que las contaminaciones en tilapias son frecuentes ya sea intencional o no. También se pueden producir hembras por existir genes en los autosomas que influyen la determinación sexual y que actúen como modificadores, disminuyendo la importancia de los cromosomas sexuales.

Al igual que la ginogénesis, la androgénesis (todo el genoma proviene del padre) puede emplearse para obtener cepas monosexuales en un proceso que combine androgénesis y cambios de sexo con la finalidad de producir poblaciones de puros machos, siempre que el sexo homogamético sea el masculino y que los machos puedan ser cambiados de sexo para convertirse en hembras funcionales. Además es muy importante la posibilidad de producir supermachos (YY) en especies que tienen el mecanismo de determinación sexual XX-XY. La mitad de los diploides androgénicos serán hembras XX y la mitad machos

YY, que cruzados con hembras normales producirán 100% machos XY. Esta aproximación es una manera efectiva de producir poblaciones sólo de machos en *Oreochromis nilotica* y *O. mossambicus* y bagres del canal.

En la androgénesis se destruye el material genético del ovocito por medio de radiaciones gamma de  $^{60}\text{Co}$  y bloqueo posterior de la primera división mitótica con alta presión. En estos casos se obtiene homocigosis total y herencia exclusivamente paterna. Este procedimiento ha sido realizado por Scheerer *et al.* (1986) en la trucha arcoiris.

### REVERSION SEXUAL EN MOLUSCOS

En moluscos se han realizado pocas investigaciones de este tipo; los estudios con aplicación de hormonas están dirigidos sobre todo a la inducción del desove.

### REVERSION SEXUAL EN CRUSTACEOS

Los crustáceos son un grupo relativamente poco estudiado desde el punto de vista genético pero, a pesar de esto, el proceso de reversión sexual también se ha ensayado en ellos, considerando el crecimiento dimórfico sexual y la importancia comercial que puede tener el sexo en organismos como *Macrobrachium rosenbergii* y *Penaeus monodon*. Ejemplo de estudios de reversión sexual en estos organismos son los de Nagamine *et al.* (1980) citado por Malecha (1983) quienes llevaron a cabo la masculinización de *M. rosenbergii* por implantación de tejido de glándula androgénica disceptado de un macho. También, los efectos de la ablación (andrectomía) de la glándula androgénica en esta especie, reduce el desarrollo de las tenazas y causa la desaparición de apéndices masculinos y deterioro del sistema reproductivo en machos, acompañada por una reducción en la tasa de crecimiento somático. Tales "neohembras", que son machos desde el punto de vista genético pueden ser apareados con machos normales y producir huevos fértiles (Fig. 7). Este hecho sugiere que algún factor secretado por la glándula androgénica estimula directa o indirectamente el crecimiento somático y la extracción y aislamiento de esta hormona de realizarse podría ser utilizada para obtener individuos de mayor talla (Sagi & Cohen, 1990).



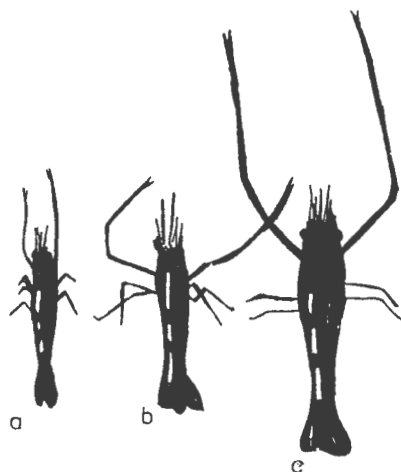


Figura 7. *Macrobrachium rosebergii*. Machos Andrectomizados (a) y (b) y macho normal (c).

Recientemente se ha implantado tejido de la glándula androgénica de machos adultos en hembras muy jóvenes. El grado de reversión del sexo y su éxito reproductivo dependen de la edad a la cual se lleve a cabo la implantación. Se ha logrado una reversión completa de la función sexual y una casi total reversión de la morfología sexual secundaria en hembras de 6,5 a 7,5 mm de longitud total (unos 30 días de vida). Cuando el implante se realiza en hembras de tallas entre 8,0 - 10,3 mm surgen anomalías en el sistema reproductivo. Los cruces de 6 neomachos con hembras normales, produjeron una relación de sexo en las progenies de 1:3,20 (machos-hembras). Mientras que en cruces normales la relación fue de 1:1,29. La progenie de hembras de los cruces en que se usaron neomachos se llevaron hasta la madurez sexual y se realizaron cruces retrógrados con neomachos no relacionados, produciéndose 8 progenies con una relación acumulativa de 1: 6,63, una de las progenies estuvo conformada por 1809 hembras (Malecha *et. al.*, 1992). Estos resultados son la primera evidencia de la presencia de factores genéticos y ambientales en la determinación del sexo en esta especie y apoyan la hipótesis que el sexo es determinado cromosómicamente con hembras ZW y machos ZZ.

En resumen, los resultados presentados son muy prometedores para los cultivos de crustáceos en donde los machos crecen hasta una talla mayor que las hembras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Allen, A. K. Jr. 1988. Triploids oysters ensure year-round supply. *Oceanus*, 31: 58-63
- Bye, L.V.J. 1982. Steroid-induced sex reversal and sterility of the turbot *Scophthalmus maximus*. *Gen. Com. Endoc.*, 46 (3).
- Cherfas, N.B. 1966. Natural triploidy in fishes of the unisexual form of the goldfish (*Carassius auratus gibelio*). *Genetika*, 5: 16-24.
- Chorrot, D., Chevassus, B. & Guyomard, R. 1988. La mejora genética de los peces. *Mundo Científico*, 6: 1078-1080.
- Crews, D. 1994. Animal Sexuality. *Scient. Amer.*, 270 (1): 96-103.
- Donaldson, E.M. & Hunter, G.A. 1982. Sex control in fish with particular reference to salmonids. *Can. J. Fish. Aquatic. Sci.*, 39: 99-110.
- Dunham, R.A. 1990. Production and use of monosex or sterile fishes in aquaculture. *Reviews in Aquatic Sciences*, 2: 1-17.
- Hubbs, C.I. & Hubbs, L.C. 1932. Apparent parthenogenesis in nature: in a form of fish of hybrid origin. *Science*, 14: 473-483.
- Jensen, G.I. & Shelton, W.L. 1979. Effects of estrogens on *Tilapia aurea*: implications for production of monosex genetic male tilapia. *Aquaculture*, 16: 233-239.
- Kirpichnikov, V. S. 1981. Genetic basis of fish selection. Springer Verlag. Germany. 410pp.
- LeGrande, W., Dunham, R.A. & Smitherman, R.O. 1984. Comparative karyology of three species of North American catfishes (Siluriformes, Ictaluridae: *Ictalurus*) and four of their hybrids. *Copeia*, 1984: 873-878.
- Lincoln, R. 1987. Triploids rainbow trout. *Trout News*, 1: 13-16.
- Lincoln, R. & Bye, V. 1984. Triploids rainbows show commercial potential. *Fish Farmer*, 7: 30-32.

- Mackie, G.L. 1984. Bivalves. *The Molluscan*, 7: 351-418.
- Malecha, S. R. 1983. Crustacean genetics and breeding. *Aquaculture*, 33: 395-413.
- Malecha, S. R., Nevin, P.A., HA, P., Barck, L.E., Lamadrid-Rose, Y., Masuno, S. & Hedgecock, D. 1992. Sex ratios and sex determination in progeny from crosses of surgically sex-reverted fresh water prawns, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture*, 105: 201-218.
- Mirza, J. A.; W.L. Shelton. 1988. Induction of gynogenesis and sex reversal in silver carp. *Aquaculture*, 68: 1-14.
- Morell, V. 1994. Rise and Fall of the Y chromosome. *Science*, 263: 171-172.
- Myers, J.M. 1986. Tetraploid induction in *Oreochromis* spp. *Aquaculture*, 57: 281-288.
- Nagy, A.; M. Bercsenyi; V. Csanyi. 1981. Sex reversal in carp (*Cyprinus carpio*) by oral administration of methyl- testosterone. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 38: 725-728.
- Pérez, J.E. & A. Beaumont. 1990. Mejoramiento genético en Acuicultura. *Red. Lat. Acuic.*, 4: 3-13.
- Purdom, C.E. 1984. Atypical modes of reproduction in fish. In *Oxford Reviews of Reproductive Biology*. Edited by J.R. Clarke. Clarendon Press: 304-340.
- Ross, R.M. 1990. The evolution of sex changes mechanisms in fishes. *Env. Biol. Fish.*, 29: 81-93.
- Sagi, A.; D. Cohen. 1990. Growth, maturation and progeny of sex - reversed *Macrobrachium rosenbergii* males. *Aquaculture*, 22: 209-228.
- Scheerer, P.D., Thorgaard, G.H., Allendorf, F.W. & Knudsen, K.L. 1986. Androgenetic rainbow trout produced from inbred and outbred sperm sources show similar survival. *Aquaculture*, 57: 289-295.
- Scott, A.G.; D.J. Penman; J.A. Beardmore; D.O.F. Skibinski. 1989. The YY supermale in *Oreochromis niloticus* and its potential in Aquaculture. *Aquaculture*, 78: 237-251.
- Shapiro, D. Y. 1987. Differentiation and evolution of the sex change in fishes. *BioScience*, 37 (7): 490-497.
- Shelton, W. 1986. Broodstock development for monosex production of grass carp. *Aquaculture*, 57: 311-319.
- Tave, D. 1989. Sex Determination. *Aquaculture Magazine*, 15 (2): 67-69.
- \_\_\_\_\_ 1990. Supermale Tilapia. *Aquaculture Magazine*, 16 (2): 69-72.
- \_\_\_\_\_ 1994. Autosomal sex-determining gene discovered in common carp. *Aquaculture Magazine*. 20 (1): 81-84.
- Torrans, L.; F. Meriwether; F. Lowell; B. Wyatt; P.D. Gwinup. 1988. Sex reversal of *Oreochromis aureus* by immersion in mibolerone, a synthetic steroid. *J. World. Aq. Soc.*, 19 (3): 97- 102.
- Warner, R.P.; S.E. Swearer. 1991. Social Control of sex change in the Bluehead Wrasse, *Thalassoma bifasciatum* (Pisces: Labridae). *Biol. Bull.*, 181: 199-204.